

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2025 年度)

一、项目名称

井筒系统风险防控关键技术及其规模应用

二、提名奖种

陕西省科学技术进步奖

三、提名者及提名意见

提名者：延安市人民政府

提名意见：

本项目所提供的材料真实有效，内容符合填写要求。

本项目围绕“三低”油田高腐蚀环境下的井筒系统风险防控，通过理论创新、技术融合与标准引领，全面提升井筒安全与防护效率。

在创造性上，首次提出裂纹动态预测模型，攻克多场耦合下井筒裂纹模拟难题；原创特殊螺纹结构，管杆寿命提升 1 倍以上；构建“材料-缓蚀剂-阴极保护-涂层”四位一体防腐技术体系，耐蚀性能提高 80%以上；开发安全预警系统，实现 13 类风险因素的非线性耦合分析；发布全球首个针对“三低”油田的腐蚀防控技术标准体系，引领行业向主动防控转型。

在先进性上，多场耦合模拟效率国际领先，计算效率提升 30%，预测误差小于 5%；气密封螺纹泄漏率较 API 标准降低 90%，密封压力极限达 50MPa，成本仅为进口 1/3；智能监测预警准确率和响应速度显著优于国际同类系统。管材综合成本降 40%，单井维护成本减少 70%，为全球复杂油气田开发提供了领先的中国方案。

该技术成果在延长油田实现规模化应用，累计推广超 20000 井次，覆盖原油产能 500 万吨，单井服役寿命平均延长 1-3 年，近三年累计增油 4.5 万吨，节约大量修井与维护成本，累计新增利润达 6.2 亿元。

该项目成果显著提升了 CCUS 等重点工程的安全管控能力，对保障国家能源战略安全、推动油气行业绿色低碳转型发展具有重要的示范效应和广泛的行业引领价值。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

延长油田作为陕西重要的油气资源开发区和我国陆上石油工业发源地，属于典型的“三低”（低渗透、低压力、低丰度）油田，开发过程中需严格控制成本，井筒系统长期采用碳钢油套管及普通水泥等经济型材料。然而，随着油田开发深入，低渗地层注采压力波动频繁、硫酸盐还原菌（SRB）扩散加剧，叠加碳捕集、利用与封存（CCUS）工程规模化推进， H_2S 与 CO_2 共存的高腐蚀性环境日益普遍，井筒系统面临的风险增加。据统计，因井筒腐蚀等问题引发的非计划性修井作业占比超 40%，单井年均维护成本呈上升趋势，同时存在地下水污染、有害气体逸散等环境风险，严重制约油田稳产增效与绿色低碳发展目标。在此背景下，延长石油集团立足国家“双碳”战略与能源安全需求，针对“三低”油田开发难题，历经 10 年技术攻关，创新性构建井筒系统长效安全防控技术体系。项目以多场耦合作用下的井筒失效机理为核心，突破低成本材料性能极限，通过数字化监测、智能化预警与低碳化治理技术集成，实现井筒系统安全全链条管控，并在延长油田累计应用 20000 余井次。该技术不仅显著提升井筒屏障系统服役安全性，降低生产成本 20% 以上，更有效保障 CCUS 工程中 CO_2 长效封存，减少环境污染风险。其成果为破解“三低”油田高效开发与生态保护协同难题提供了关键技术支撑，推动传统油气产业向智能化、低碳化转型，助力国家能源结构优化与碳中和战略落地。已成为我国陆上油田高效开发的标志性技术，对全球同类油气田开发具有重要借鉴价值。

五、客观评价

该项目成果包含国家重点研发计划“ CO_2 驱油技术及地质封存安全监测”课题二“注采工程安全控制与井眼完整性评价技术”（编号：2018YFB0605502），且已顺利通过国家科技部验收。此外，项目还包含延长石油集团 5 项基金项目，均已顺利通过验收。项目整体成果被延安市科学技术局成功鉴定，认为在井筒失效机理研究、防护技术创新、监测预警方法开发等方面取得了突破，成果丰硕，经济效益显著，达到了国内先进水平。

项目核心技术已获国家发明专利授权 10 项（如 CN 201510720918.8 等），包括“一种磁性防腐自修复涂料及其在油气田套管防腐蚀中的应用”（CN201710592009.X）等关键专利；登记软件著作权 4 项；在国际知名学术期刊与国内高水平学术期刊累计发表论文 28 篇，被 SCI/SSCI/CSSCI 收录并大量引用，总引用次数达 582 次。3 篇代表性研究成果被来自于美国、意大利、瑞典、巴西等国的专家学者在 SCI&SSCI 数据库引用 45 次，其中 2 篇发表于《Journal of Petroleum Science and Engineering》Top 期刊，单篇最高他引 27 次，产生了广泛的国际学术影响和积极的社会效益。项目成果近 10 年已在延长油田累计应用 2 万井次，新增销售额 5.2 亿元，新增利润 6.2 亿元。形成的《 CO_2 驱油管内腐蚀挂环制备、安装和检测技术规范》（DB61/T 1367-2020）、《油气田金属腐蚀电化学测试技术规范》（DB61/T 1582-2022）等 2 项陕西省地方标准，被中石油集团长庆、大庆等油田，中海油湛江分公司等列为技术参考文件。

该项目部分成果在 2024 年石油管及装备材料国际会议做了开篇主旨报告分享，受到加拿大皇家科学院程玉峰院士、挪威技术科学院张志良院士与何健英院士及来自加拿大、澳大利亚、阿根廷、巴西等国际知名专家高度肯定。此外，项目核心成员还在世界腐蚀大会等顶级会议及中国石油石化腐蚀与防护技术交流大会、复杂油气工程科技创新论坛、中国石油学会第十三届青年学术年会等国际/国内会议进行口头报告分享 10 余次，并受到搜狐网、新浪网、中石油官网、中国石油报、中国石油石化工程信息网等媒体报道。该项目成果获局级科技奖励 5 项，包括榆林市科学技术奖一等奖（2022）、陕西石化科学技术奖二等奖（2023），延长石油集团科技奖三等奖 2 项。部分成果支撑延长石油集团技术团队入选自然资源部“科技创新团队”。

六、应用情况

本技术成果自 2014 年 1 月实施，历时 10 年，主要在延长油田靖边采油厂含硫区块、杏子川采油厂注二氧化碳区块、吴起采油厂注二氧化碳区块等多个区块进行了规模应用，有效缓解了油田开发过程中的井筒失效技术难题，降低了开发成本并确保安全生产。应用期内，在靖边采油厂累计应用防腐成套控制技术 7500 余井次，井筒失效监测与预警技术 720 余井次；在杏子川采油厂累计应用防腐成套控制技术 3400 余井次，井筒失效监测与预警技术 400 余井次；在吴起采油厂累计应用防腐成套控制技术 8100 余井次。近 3 年新增销售额 15641.84 万元，新增利润 18680.88 万元。近 10 年在延长油田累计应用超过 20,000 井次，新增销售额 5.2 亿元，新增利润 6.2 亿元

同时，为实现项目技术成果的广泛推广应用，可采取以下多维度措施。在政策引导方面，积极与国家能源主管部门、地方政府沟通协作，争取将项目技术纳入国家能源发展规划以及地方产业扶持政策中，通过政策倾斜，鼓励其他油田优先采用本项目技术，为技术推广营造良好政策环境。在技术交流与培训上，定期举办全国性乃至国际性的油田技术研讨会，邀请行业专家、油田企业代表参与，分享项目技术成果与应用案例，增进同行对技术的了解与认可。同时，针对不同层次技术人员，开展专业培训课程，使其掌握项目技术的操作要点与应用方法，为技术推广培养专业人才。在合作推广途径上，与大型油田企业、能源工程公司建立战略合作伙伴关系，通过联合项目实施、技术许可等方式，将项目技术成果推广至其旗下油田。与高校、科研机构开展产学研合作，进一步优化技术，拓展技术应用领域，提升技术竞争力，借助各方力量推动技术广泛应用。

七、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	论文	A Parametric Study for Radial Cracking in Cement Under Different Loading Events Based on the Stress Intensity Factor.	美国	DOI: 10.1115/1.4051742	2021.7.30	Journal of Energy Resources Technology. 2022,144:053001	China University of Petroleum, Beijing	Xuelin Dong, Zhiyin Duan, Haoyu Dou, Yinji Ma, Deli Gao
2	论文	Failure analysis for the cement with radial cracking in HPHT wells based on stress intensity factors	荷兰	DOI: 10.1016/j.petrol.2019.04.062	2019.4.23	Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019,179:558-564	China University of Petroleum, Beijing	Xuelin Donga, Zhiyin Duan, Zhe Qu, Deli Gao
3	论文	Investigation of the interface cracks on the cement sheath stress in shale gas wells during hydraulic fracturing	荷兰	DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108981	2021.5.25	Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021,205:108981	China University of Petroleum, Beijing	Yanbin Wang, Kui Liu, Deli Gao
4	论文	Corrosion Behavior and Mechanism of Oil Casing Steel in CO ₂ Salt Solution	中国	doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1035.534	2021.06.22	Materials Science Forum.2021, 1035:534-538	Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co, Ltd	Xiaojun Fang, Li Liu, Zhigang Yang, Yongqiang Zhang
5	发明专利	一种弹性密封螺纹结构	中国	CN 105221081 A	2017 年 8 月 1 日	第 2573024 号	陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院	张永强;刘立;刘杰;尹志福;朱世东;王珂;南蓓蓓;封子艳何飞;张淑侠
6	发明专利	一种磁性防腐自修复涂料及其在油气田套管防腐中的应用	中国	CN 107216774 B	2019 年 2 月 19 日	第 3259609 号	陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院	张永强;刘立;尹志福;王珂;拓川;杨志刚;张世君;方晓君何飞;封子艳;南蓓蓓

7	地方标准	CO ₂ 驱油管内腐蚀挂环制备、安装和检测技术规范	中国	DB61/T 1367-2020	2020/9/15		陕西延长石油（集团）有限责任公司	张永强、杨志刚、方晓君、拓川、南蓓蓓、王高峰、杨添、屈撑囤、杜欣凯、王珂、司小明、吕烁、王娟。
8	地方标准	油气田金属腐蚀电化学测试技术规范	中国	DB61/T 1582-2022	2022/8/24		陕西延长石油（集团）有限责任公司	方晓君、卜晓阳、南蓓蓓、刘立、杨志刚、张永强、迟九蓉、赵国仙、高宁博、李辉、马彬、王娟、吕烁、孙淑娟、马春晓。
9	软件著作权	二氧化碳注采工程安全风险监测管理平台	中国	2021SR0537865	2021年4月14日	软著登字第7260491号	陕西延长石油（集团）有限责任公司	
10	软件著作权	二氧化碳注采工程安全风险评估系统	中国	2021SR0537881	2021年2月23日	软著登字第7260507号	陕西延长石油（集团）有限责任公司	

八、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
张永强	1	副所长	正高级工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	该同志作为项目负责人对主要创新成果一、二、三、四做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）主导井筒风险防控核心技术研发，突破风险智能预警等关键技术；（2）组织示范井全流程验证，实现防腐、监测等技术的规模化推广应用；（3）制定陕西省技术标准，形成专利群与解决方案，提升井筒安全性与经济效益。

高德利	2	校学术委员会主任	教授	中国石油大学(北京)	中国石油大学(北京)	该同志对主要创新成果一做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）提出了井筒完整性评价与风险防控的关键技术方向，指导团队建立了基于多场耦合的井筒失效机理分析框架，为项目攻关提供了理论支撑和技术路径；（2）设计了井筒失效控制的系统性解决方案框架，包括失效模式识别、风险评估方法和防控技术体系，为项目的工程实施提供了顶层规划和标准依据。
张海	3	经理	正高级工程师	延长油田股份有限公司	延长油田股份有限公司	该同志对主要创新成果四做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）参与腐蚀控制技术的现场实施，提供相关技术支持和建议；（2）负责监测与预警技术的研发和实施，进行数据分析与异常检测的研究。
杨志刚	4	所长	正高级工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	该同志对主要创新成果二、三、四做出了重要贡献，主要创新性贡献如下：（1）负责腐蚀控制技术的研发和优化工作，提供相关技术支持和建议；（2）负责监测与预警技术的研发和实施，进行数据分析与异常检测的研究。

王宴滨	5	副院长	教授	中国石油大学(北京)	中国石油大学(北京)	该同志对主要创新成果一做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）负责水泥环裂纹控制技术的研发和实施，开发裂纹检测、修复和预防的相关技术和工具；（2）负责腐蚀控制技术的研发和优化工作，提供相关技术支持和建议。
拓川	6	无	高级工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	该同志对主要创新成果二、三、四做出了重要贡献，主要完成内容如下： （1）负责腐蚀控制技术的研发和优化工作，提供相关技术支持和建议；（2）负责监测与预警技术的研发和实施，进行数据分析与异常检测的研究。
董雪林	7	无	副教授	中国石油大学(北京)	中国石油大学(北京)	该同志对主要创新成果一做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）负责水泥环裂纹控制技术的研发和实施，开发裂纹检测、修复和预防的相关技术和工具；（2）负责腐蚀控制技术的研发和优化工作，提供相关技术支持和建议。
方晓君	8	室主任	高级工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	该同志对主要创新成果二、三、四做出了重要贡献，主要完成内容如下： （1）负责腐蚀控制技术的研发和优化工作，提供相

						关技术支持和建议；（2）负责监测与预警技术的研发和实施，进行数据分析与异常检测的研究；（3）负责项目相关技术标准化工作。
王宝萍	9	主管	高级工程师	延长油田股份有限公司	延长油田股份有限公司	该同志对主要创新成果四做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）参与腐蚀控制技术的现场实施，提供相关技术支持和建议；（2）负责监测与预警技术的研发和实施，进行数据分析与异常检测的研究。
吴琳	10	无	工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院	该同志对主要创新成果四做出了重要贡献，主要完成内容如下：（1）参数室内实验分析测试，数据处理等工作；（2）参与腐蚀控制技术的现场实施，提供相关技术支持和建议；（3）参与监测与预警技术的研发工作。

九、主要完成单位情况及创新推广贡献

主要完成单位情况表					
单位名称	延长油田股份有限公司				
排名	1	法定代表人	张冰	所在地	陕西延安
单位性质	企业	传真	0911-8018697	邮政编码	716000
通讯地址	陕西省延安市宝塔区枣园路延长油田股份有限公司				
联系人	王宝萍	单位电话	0911-8018193	移动电话	18391139358
电子邮箱	182172411@qq.com				
对本项目主要的学术贡献： <p>延长油田股份有限公司为技术提供了实际应用场所，通过日常油气开采实践积累经验，及时发现技术问题并为优化改进提供反馈。负责技术的日常维护与管理，制定严格的操作规程和安全措施，确保技术稳定运行和安全生产。同时，与技术研发团队保持紧密合作，将现场实践中的需求与问题及时反馈，推动技术创新与研发，解决实际应用中的难题，显著提升了技术的可靠性和实用性。</p>					

主要完成单位情况表					
单位名称	中国石油大学（北京）				
排名	2	法定代表人	金衍	所在地	北京
单位性质	事业	传真		邮政编码	102249
通讯地址	北京市昌平区府学路 18 号				
联系人	王宴滨	单位电话	010-89732201	移动电话	13811511741
电子邮箱	wangyanbin@cup.edu.cn				
<p>对本项目主要的学术贡献：</p> <p>中国石油大学（北京）作为主要完成单位，在项目科技创新中发挥了理论研究、实验研究和技术创新优势。学校科研团队完成了室内实验、理论模型构建及技术优化，解决了水泥环失效预测难题，提升了井筒系统的长效安全性。项目成果为井筒失效监测及预警技术的发展提供了重要理论和技术支持，促进了技术的实际应用与创新。</p>					

九、完成人合作关系说明

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	董雪林/7, 高德利 /2	2016.1.1- 2023.3.31	SCI 论文: A Parametric Study for Radial Cracking in Cement Under Different Loading Events Based on the Stress Intensity Factor	附件 1
2	论文合著	董雪林/7, 高德利 /2	2016.1.1- 2023.3.31	SCI 论文: Failure analysis for the cement with radial cracking in HPHT wells based on stress intensity factors	附件 2
3	论文合著	王宴滨/6, 高德利 /2	2016.1.1- 2023.3.31	SCI 论文: Investigation of the interface cracks on the cement sheath stress in shale gas wells during hydraulic fracturing	附件 3
4	论文合著	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2023.3.31	EI 论文: Corrosion Behavior and Mechanism of Oil Casing Steel in CO ₂ Salt Solution	附件 4
5	共同知识 产权	张永强/1	2016.1.1- 2023.3.31	发明专利: 一种弹性密封螺纹结 构	附件 5
6	共同知识 产权	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2023.3.31	发明专利: 一种磁性防腐自修复 涂料及其在油气田套管防腐蚀 中的应用	附件 6
7	共同知识 产权	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2023.3.31	地方标准: CO ₂ 驱油管内腐蚀挂环制备、安 装和检测技术规范	附件 7
8	共同知识 产权	张永强/1, 杨志刚 /4, 方晓君/8	2016.1.1- 2023.3.31	地方标准: 油气田金属腐蚀电化学测试技 术规范	附件 8

9	共同知识 产权	张海/3, 董雪林 /7, 王宝萍/9, 吴 琳/10	2016.1.1- 2023.3.31	软件著作权: 二氧化碳注采工程安全风险监 测管理平台	附件 9
10	共同知识 产权	张海/3, 董雪林 /7, 王宝萍/9, 吴 琳/10	2016.1.1- 2023.3.31	软件著作权: 二氧化碳注采工程安全风险评 估系统	附件 10
11	共同获奖	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2021.12.2 2	榆林市科学技术一等奖“井筒管 柱失效综合防治技术研发及应 用”	附件 11
12	共同获奖	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2023.4.31	陕西省第二届秦创原高价值专 利大赛延安市校企高价值专利 培育大赛一等奖“CCUS 工程中 套管失效预防与监测技术”	附件 12
13	共同获奖	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2019.7.29	陕西延长石油(集团)有限责任公 司科技成果三等奖“延长油田新 型石油管材优化研究及应用”	附件 13
14	共同获奖	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2020.5.31	陕西延长石油(集团)有限责任公 司研究院科技成果二等奖“CO ₂ 驱油过程管材腐蚀行为研究与 配套防护技术应用”	附件 14
15	共同获奖	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 方晓 君/8	2016.1.1- 2022.9.30	陕西延长石油(集团)有限责任公 司研究院科技成果二等奖“靖边 油田酸性介质防腐综合治理技 术研究与示范”	附件 15
16	共同立项	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6, 董雪 林/7	2017.11.2 9-2022.4. 30	国家重点研发计划: “CO ₂ 驱油 技术及地质封存安全监测”课题 二课题”注采工程安全控制与井 眼完整性评价技术”(编号: 2018YFB0605502)	附件 16
17	共同立项	张永强/1, 杨志刚 /4, 拓川/6	2019.1.1- 2020.12.3 1	延长石油集团科技计划: “靖边 油田酸性介质防腐综合治理技 术研究与示范” (ycsy2019ky-A-23)	附件 17

18	共同立项	张永强/1, 杨志刚 /4	2021.1.1- 2021.12.3 1	延长石油集团科技计划“靖边采 油厂防腐防垢与水质稳定技术 研究（ycsy2021ky-B-18）”	附件 18
19	共同立项	张永强/1, 方晓君 /8	2021.1.1- 2022.12.3 1	延长石油集团科技计划“志丹采 油厂套管在地层水服役环境下的 安全性评价和可靠性预测” （ycsy2021jcts-B-16）	附件 19
20	共同立项	张永强/1, 拓川 /6, 方晓君/8	2022.1.1- 2023.12.3 1	延长石油集团科技计划“API 螺 纹用高性能密封润滑材料密封 机理及应用关键技术研究” （ycsy2022jcts-B-25）	附件 20
21	共同立项	张永强/1, 拓川 /6, 方晓君/8	2019.1.1-	延长石油集团科技计划“油水井 套损机理与防治措施研究” （ycsy2019ky-B-19）	附件 21